

Научная статья

УДК 53.096

ВЛИЯНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ЦИРКОНИЯ НА СТРУКТУРНЫЕ И ФАЗОВЫЕ ПРЕВРАЩЕНИЯ В СПЛАВАХ СИСТЕМЫ Ti–40Nb ПРИ ТЕРМИЧЕСКОМ И ДЕФОРМАЦИОННОМ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

**Дарья Валентиновна Куренева, Роман Игоревич Петров¹,
Ирина Вячеславовна Нарыгина**

Уральский федеральный университет, Екатеринбург, Россия

¹ *r.i.petrov@urfu.ru*

Научный руководитель — проф., д-р техн. наук А. А. Попов

Аннотация. В работе методами оптической металлографии, РЭМ, РСФА и дюротрии проанализированы эволюция структуры, протекание фазовых превращений при закалке и последующем старении в сплаве Ti–40Nb–xZr при варьировании содержания циркония от 5 до 9 масс. %. Рассмотрено влияние пластической деформации, дополнительно проводимой перед старением, на сдвиг структурных и фазовых превращений при распаде метастабильных фаз.

Ключевые слова: Ti–40Nb–5Zr, Ti–40Nb–7Zr, Ti–40Nb–9Zr, закалка, старение, деформация, морфология фаз

Original article

THE EFFECT OF ZIRCONIUM CONTENT ON STRUCTURAL AND PHASE TRANSFORMATIONS IN Ti–40Nb ALLOYS UNDER THERMAL AND DEFORMATION EFFECTS

**Daria Valentinovna Kureneva, Roman Igorevich Petrov¹,
Irina Vyacheslavovna Sharygina**

Ural Federal University, Yekaterinburg, Russia

¹ *r.i.petrov@urfu.ru*

Scientific supervisor — professor, doctor of technical sciences A. A. Popov

Abstract. In this work, the evolution of the structure and phase transformations during quenching and subsequent aging in Ti–40Nb–xZr alloy with varying zirconium content from 5 to 9 wt. % are analyzed by methods of optical metallography, SEM, RSFA and durometry. The influence of plastic deformation, additionally carried out before aging, on the shift of structural and phase transformations during the decay of metastable phases is considered.

Keywords: Ti–40Nb–5Zr, Ti–40Nb–7Zr, Ti–40Nb–9Zr, hardening, aging, deformation, phase morphology

Сплавы системы Ti–Nb–Zr обладают улучшенной биосовместимостью, сверхупругостью и более длинной продолжительностью жизни в организме человека по сравнению с ($\alpha+\beta$)-титановыми сплавами. Для предотвращения отторжения импланта вызванной защитной реакцией организма имплант должен иметь низкую жесткость и соответственно низкий модуль упругости [1; 2], для сплавов системы Ti–Nb–Zr модуль Юнга должен быть близок к модулю упругости человеческой кости (10–30 ГПа) [3; 4].

Актуальной проблемой при работе с титановыми сплавами системы Ti–Nb–Zr остается на данный момент подбор точного химического состава с целью получения необходимых микроструктур и свойств, удовлетворяющих главным требованиям, предъявляемым к имплантам.

Объектами исследования являются прутки диаметром 18 мм, полученные по промышленной технологии на ПАО «Корпорации ВСМПО-АВИСМА» из сплавов Ti–40Nb–5Zr, Ti–40Nb–7Zr и Ti–40Nb–9Zr. Термическая обработка — нагрев в β -области до 850 °С с закалкой в воду и последующее старение при 400 и 500 °С с выдержками до 100 ч. Кроме того, дополнительно перед старением была введена горячая деформация с целью исследования влияния деформации на процессы распада метастабильных фаз.

Установлено, что закалка сплавов Ti–Nb–(5...9)Zr с температуры β -области приводит к фиксации метастабильного β -твердого раствора, вторых фаз не обнаружено. Определено, что старение при 400 °С реализуется с протеканием $\beta \rightarrow \omega$ -превращения, при этом начало выделения ω -фазы сдвигается в сторону большего времени от 32 до 100 ч при повышении в сплаве содержания циркония от 5 до 9 масс. %.

Показано, что распад β -твердого раствора при старении при 500 °С идет с выделением α -фазы пластинчатой морфологии. Начало выделения α -фазы при повышении в сплаве содержания циркония

от 5 до 7 масс. % сдвигается в сторону большего времени от 32 до 100 ч, для сплава с 9 масс. % Zr выделение α -фазы не обнаружено.

Применение пластической деформации перед старением активизирует распад метастабильного β -твердого раствора. Старение при 400 °С реализуется за счет сначала $\beta \rightarrow \omega$ -превращения, а затем $\beta \rightarrow \alpha$ -превращения при одновременном растворении ω -фазы:

- время начало выделения ω -фазы и время ее растворения для сплава Ti–40Nb–5Zr составляет 16 и 64 ч, для сплава Ti–40Nb–7Zr составляет 16 и 48 ч, для сплава Ti–40Nb–9Zr выделение ω -фазы не обнаружено;
- применение пластической деформации перед старением при температуре 500 °С сокращает время выделения α -фазы: менее 32 ч для Ti–40Nb–5Zr, 32 ч для Ti–40Nb–7Zr, 48 ч для Ti–40Nb–9Zr.

Таким образом, изученные структурные и фазовые превращения в сплавах Ti–40Nb с различным содержанием циркония от 5 до 9 масс. %, протекающие при термическом и деформационном воздействиях, позволят скорректировать применяемые для сплавов на сегодняшний день режимы термической обработки и разработать новые.

Список источников

1. Ikarashi Y. Improved biocompatibility of titanium-zirconium (Ti-Zr) alloy: tissue reaction and sensitization to Ti-Zr alloy compared with pure Ti and Zr in rat implantation study. *Materials transactions*. 2007. V. 71. P. 395–401.
2. Lütjering G., Williams Springer J. C. *Engineering Materials and Processes*. 2007. 442 p.
3. Meyers R. *Encyclopedia of Physical Science and Technology*. Academic Press. 2001. 547 p.
4. Perspectives on Titanium Science and Technology / D. Banerjee [et al.]. *Acta Materialia*. 2013. V. 61. P. 844–879.